

SEGURIDAD NUCLEAR , LICENCIAMIENTO Y APS

MEJORA DE LOS RESULTADOS DE LOS APS DE NIVEL 2 DE SUCESOS INTERNOS A POTENCIA DE LAS PLANTAS DE ANAV TRAS LA INCORPORACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS POST-FUKUSHIMA



ELISABET MARCOS
WESTINGHOUSE ELECTRIC SPAIN;
C.N. VANDELLÓS II



VICENTE NOS
WESTINGHOUSE TECHNOLOGY SERVICES;
C.N. VANDELLÓS II



HÉCTOR HERNÁNDEZ
ASOCIACIÓN NUCLEAR ASCÓ-VANDELLÓS II;
C.N. VANDELLÓS II

Se presenta la actualización del APS de Nivel 2 de Sucesos Internos a Potencia, en la que se han introducido los recombinaidores pasivos de hidrógeno, el venteo filtrado de la contención y la inyección directa a la cavidad del reactor, comentándose los principales aspectos de su desarrollo y sus resultados para las C.N. Ascó 1 y 2 y C.N. Vandellós II.

INTRODUCCIÓN

El Análisis Probabilista de Seguridad (APS) de Nivel 2 se sustenta en el análisis de Nivel 1 y tiene como objetivo identificar las vulnerabilidades de las centrales nucleares frente a accidentes severos así como estimar las liberaciones de productos radiactivos al exterior en caso de accidente con daño al núcleo. La IS-25 [1] del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) regula el proceso de mantenimiento y actualización de los APS, con la finalidad de disponer de una herramienta de calidad que refleje en todo momento la realidad de la planta.

En el marco de las actuaciones derivadas de la respuesta a las Instrucciones Técnicas Complementarias del CSN tras el accidente de Fukushima, las centrales nucleares de Ascó y Vandellós II ha incrementado su capacidad de hacer frente a escenarios más allá de las bases de diseño con la implantación de distintas modificaciones de diseño. La reducción del riesgo ha sido constatada con la inclusión de dichas modificaciones en el modelo actualizado del APS de Nivel 2 de Sucesos Internos a potencia.

Se describen brevemente las principales actividades llevadas a cabo para actualizar el APS de Nivel 2 de Sucesos Internos a Potencia de las centrales nucleares de Ascó [2] y Vandellós II [3]. Se analiza el impacto en el Nivel 2 de la implantación de las modificaciones instaladas como medida

de refuerzo de la seguridad en caso de accidente severo: los recombinaidores pasivos de hidrógeno, el venteo filtrado de la contención y la inyección directa a la cavidad del reactor y se presentan los resultados entre la edición actualizada y la que se obtendría en caso de no haber implementado dichas estrategias “postFukushima”.

OBJETO Y METODOLOGÍA

El análisis de Nivel 2 del APS se desarrolla fundamentalmente con el objetivo de estimar la frecuencia de ocurrencia de:

- **Modos de Fallo de Contención** mediante el análisis del comportamiento de la misma ante los accidentes severos y determinar si los procesos físico-químicos que tienen lugar en la progresión de los accidentes severos pueden generar la pérdida de la integridad de la contención.
- **Categorías de Liberación (CTF)** mediante la determinación de los términos fuente (radionúclidos liberados a la atmósfera exterior) en aquellos casos en que, debido a los procesos físico-químicos que tienen lugar en la progresión de los accidentes severos, se pueda provocar la pérdida de la integridad de la contención.

La caracterización del Término Fuente permite estimar la Frecuencia de Grandes Liberaciones Tempranas (FGLT) y la Frecuencia de Grandes Liberaciones (FGL).

La metodología utilizada se ajusta a los requisitos incluidos en la G.L. 88-20 [4] así como en las Guías Básicas para el desarrollo de los IPE en centrales PWR españolas [5] y contempla las recomendaciones de Westinghouse [6].

ESTRATEGIAS POSTFUKUSHIMA

Las centrales Ascó 1 y 2 y Vandellós II han implantado, en la 24ª recarga (octubre 2015), 23ª y 24ª recargas (abril 2016 y octubre 2017) y 21ª recarga de combustible (diciembre 2016) respectivamente, los siguientes sistemas, subsistemas y estrategias que contribuyen a mitigar las consecuencias de un accidente severo:

- **Inyección directa a la cavidad del reactor:** aporte de 68 m³/h de agua a la cavidad de recarga mediante equipos portátiles conectados a la conexión manguera situada en el exterior del Edificio Auxiliar. El objetivo de la estrategia es refrigerar el material fundido del núcleo del reactor (*debris*) caído a la cavidad del reactor tras la rotura de la vasija y mitigar las consecuencias de su interacción con el hormigón de la cavidad. El suministro de agua proporciona un lecho de agua para que en caso de fallo de la vasija, el *debris* se mantenga inundado y refrigerado
- **Ventoeo filtrado de la contención:** capaz de reducir la sobrepresión mediante la descarga filtrada de gases y/o vapor de agua al exterior en caso de accidente más allá de los contemplados en las bases de diseño con presurización lenta de la contención, incluyendo la pérdida total de corriente alterna (SBO) prolongada.

- **Recombinadores Autocatalíticos Pasivos (PAR) de hidrógeno:** Se instalan 19 unidades tipo NIS-PAR-88 en C.N. Vandellós II y 22 unidades tipo NIS-PAR-88 en C.N. Ascó distribuidas en diferentes elevaciones y localizaciones del Edificio de Contención capaces de minimizar la concentración de hidrógeno en caso de accidente severo y evitar la acumulación de gases combustibles que podrían representar una amenaza para la integridad del Edificio de Contención.

RESULTADOS

Modos de fallo de contención

La cuantificación de los Árboles de Sucesos de Contención (CET) asociados a todos los Estados de Daño de Planta (EDP) establecidos en la primera fase del análisis permite determinar la frecuencia de los modos de fallo de contención.

En las Figuras 1 y 2 se representa para C.N. Vandellós II y C.N. Ascó respectivamente las contribuciones (%) para cada modo de fallo de contención tras la actualización del APS Nivel 2 y se compara con los resultados que se obtendrían si no se hubiesen implantado los recombinares pasivos de hidrógeno, el ventoeo filtrado de la contención y la inyección directa a la cavidad del reactor.

La implantación de los recombinares pasivos de hidrógeno, del ventoeo filtrado de la contención y de la inyección directa a la cavidad del reactor ha resultado en un incremento sustancial de la frecuencia de mantener íntegra la contención en C.N. Vandellós II. Concretamente, se ha duplicado dicho valor, representando actualmente el 59,32 % de la FDN de Sucesos Internos a Potencia. En C.N. Ascó la probabilidad se incrementa del 53,42 % al 67,43 % de la FDN.

Se destaca particularmente que en C.N. Vandellós II se ha conseguido reducir significativamente el fallo de la contención por explosión tardía de hidrógeno y por sobrepresión hasta representar el 2,47 % y el 2,52 % de la FDN, frente al 22,13 % y 28,82 % que se obtendría si no se hubiesen implantado las modificaciones de diseño derivadas del accidente de Fukushima.

En C.N. Ascó también se ha reducido dichos modos de fallo hasta representar el 1,33 % y el 0,59 % de la FDN, frente al 7,38 % y 9,08 % que se obtendría si no se hubiesen implantado. Estas reducciones son principalmente consecuencia de la instalación de los recombinares autocatalíticos pasivos de hidrógeno y del sistema de ventoeo filtrado de la contención, respectivamente.

Adicionalmente, la inyección directa de agua a la cavidad del reactor incrementa la capacidad de la planta de refrigerar el *debris* fuera de la vasija, evitando el ataque al hormigón de la cavidad y minimizando la generación

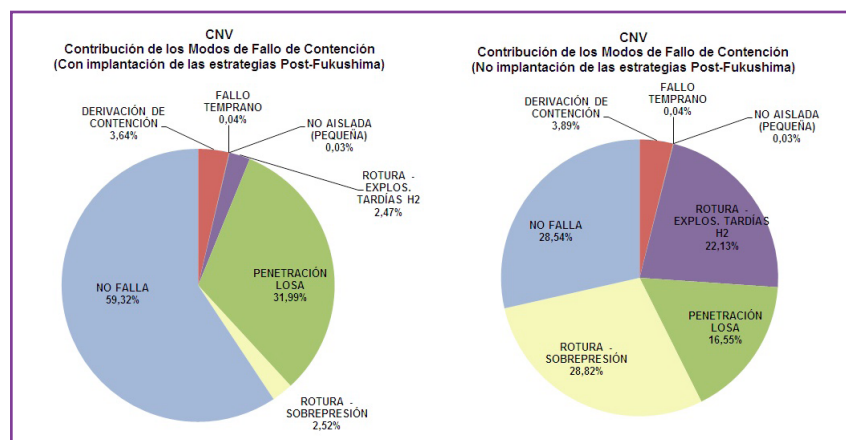


Figura 1. Contribución de los modos de fallo de contención en C.N. Vandellós II.

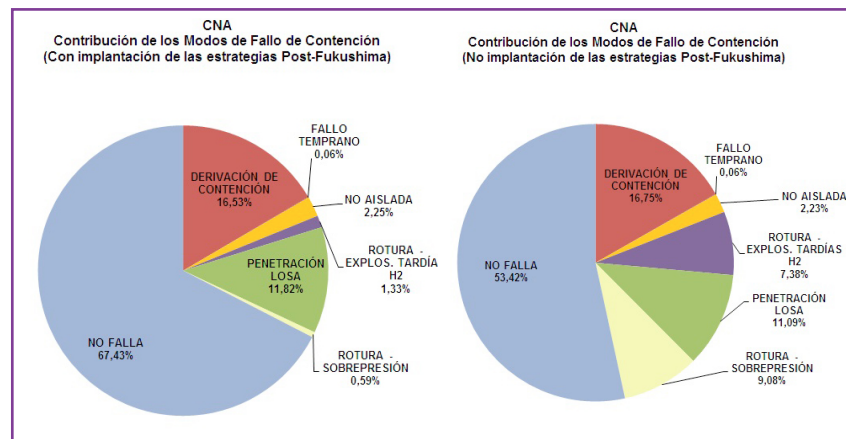


Figura 2. Contribución de los modos de fallo de contención en C.N. Ascó.

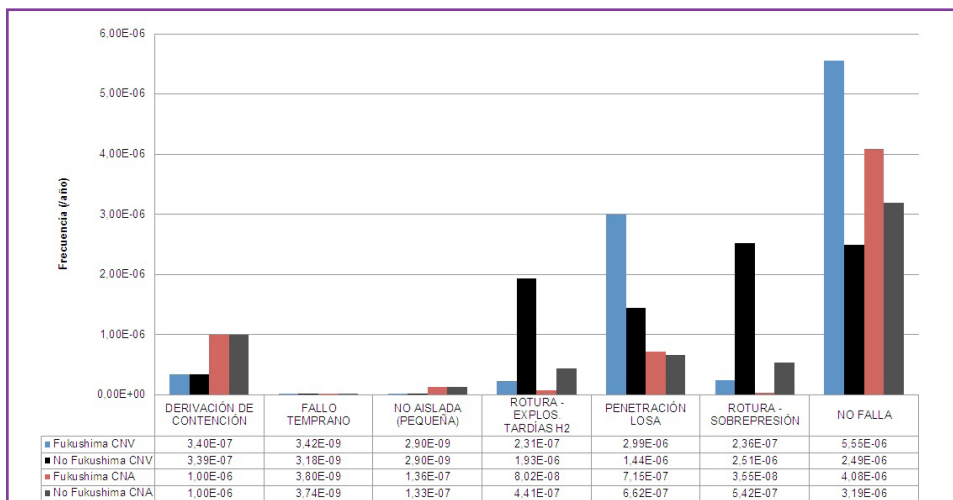


Figura 3. Frecuencia de los modos de fallo de Contención.

Modo de Fallo de Contención	Probabilidad condicional (valor puntual)					Obs.
	NUREG-1560 (Rangos)	CN Vandellós No Fukushima	CN Vandellós Fukushima	CN Ascó No Fukushima	CN Ascó Fukushima	
Derivación	0 - 0,45	0,039	0,036	0,1675	0,1653	(1)
Fallos Tempranos (< 24 h)	0 - 0,35	0,0007		0,0231		(2)
Fallos Tardíos (> 24 h)	0 - 0,75	0,6750	0,3598	0,2755	0,1374	(3)

(1) Rotura de Tubos, LOCA de Interfase. (2) ALFA, DCH, fallos del aislamiento de Contención.

(3) Explosiones de H₂, Penetración de la Losa, Sobrepresión.

Tabla 1. Probabilidad condicional de fallo de la Contención para cada Modo de Fallo de Contención.

de H₂ y otros gases incondensables. Posteriormente, manteniéndose el suministro continuado de caudal de agua a la cavidad del reactor se conseguirá la extracción de calor de la contención mediante la operación conjunta con el sistema de refrigeración de la contención o con los cambiadores de calor del RHR, tras la puesta en servicio de la recirculación a baja presión cuando se alcance el nivel adecuado en los sumideros de contención. También, en caso de fallo de las alternativas anteriores, la actuación combinada con el sistema de venteo filtrado de la contención permitiría la extracción de calor de la contención, evitándose así su rotura por sobrepresión.

En caso de que no sea posible inyectar agua a la cavidad del reactor o la refrigeración del *debris* fuera de la vasija no sea efectiva no se podrá evitar a largo plazo el fallo de contención por penetración de la losa. Este modo de fallo representa aproximadamente en C.N. Vandellós II un 32 % de la FDN, frente al 16,55 %, tras implementar las estrategias postFukushima. Sin embargo, en C.N. Ascó la contribución a este modo de fallo no se ha visto prácticamente modificada dado que la FDN se constituye en su mayoría por EDP de no baja presión en los que se considera más factible evitar el fallo por penetración de la losa.

Las roturas catastróficas a corto plazo, modos ALFA (cabeza de la vasija convertida en misil por explosión de vapor en el interior de la vasija) y DCH (*Direct Containment Heating*), presentan valores muy reducidos (0,04 % de la FDN en C.N. Vandellós II y 0,06 de la FDN en C.N. Ascó). Realmente, el fenómeno del DCH no constituye una amenaza significativa para la integridad de la contención dada la configuración

física de la cavidad del reactor que dificulta la dispersión del núcleo fundido tras el fallo de la vasija a alta presión [7].

En C.N. Vandellós II, la derivación de contención y el fallo del aislamiento de la contención no suponen una amenaza significativa representando el 3,64 % y el 0,03% de la FDN. En C.N. Ascó el fallo del aislamiento de la Contención tampoco supone una amenaza significativa representando el 2,25% de la FDN, sin embargo la derivación de Contención supone un 16,53%, debido principalmente a la mayor frecuencia del iniciador de Rotura de Tubos.

En la Figura 3 se presentan para C.N. Vandellós II y C.N. Ascó las frecuencias obtenidas (/año) tras la actualización del APS Nivel 2 (caso Fukushima) para cada modo de fallo de Contención y se compara con los resultados que se obtendrían si

no se hubiesen implantado los recombinadores pasivos de hidrógeno, el venteo filtrado de la Contención y la inyección directa a la cavidad del reactor (caso No Fukushima).

En la Tabla 1 se proporciona una comparación de los resultados obtenidos en C.N. Vandellós II (probabilidad condicional de fallo de la Contención respecto al global de la frecuencia de daño al núcleo) con los obtenidos en otras plantas PWR de EEUU y que se incluyen en el NUREG-1560 [8].

Categorías de liberación

En función de la severidad -establecida a partir de la magnitud- y temporización de las liberaciones identificadas, y acorde a las conclusiones alcanzadas en los trabajos CSN-Sector [9], en línea con las recomendaciones del WOG en la definición de LERF ("Large Early Release Frequency") plasmadas en el WCAP-16378-P [10], se definen:

- **FGLT (Frecuencia de Grandes Liberaciones Tempranas):** suma de las frecuencias de aquellos accidentes que originen una emisión de volátiles al exterior superior al 3% del inventario del núcleo en el intervalo de 12 horas contado a partir del inicio del accidente.
- **FGL (Frecuencia de Grandes Liberaciones):** suma de las frecuencias de aquellos accidentes que originen una emisión de volátiles al exterior superior al 3% en el intervalo de 24 horas contado a partir del inicio del accidente.

Los valores obtenidos en el análisis se resumen en la siguiente Tabla 2 y en la Figura 4.

En C.N. Vandellós II, tanto la FGLT como la FGL están dominadas por la CTF de "LOCA VR de Interfase (en fase de

Central Nuclear	Grupo	Frecuencia (/año)	% FDN de Sucesos Internos Internas a Potencia
Vandellós II	FGLT	2,43E-7	2,60%
	FGL	2,43E-7	2,60%
Ascó	FGLT	2,00E-7	3,30%
	FGL	2,00E-7	3,30%

Tabla 2. Frecuencia de los grupos FGLT y FGL y su contribución a la FDN.

recirculación) no cubierta por agua” (71,17%) y la CTF de “LOCA V no cubierta por agua” (20,27%). La CTF de DCH representa un 1,15% y la CTF de “Rotura de tubos de GV con temporalidad de DN anterior a 12 horas y no cubierta por agua” un 7,15%.

En C.N. Ascó, la FGLT y la FGL están dominadas por la CTF de “LOCA V de Interfase no cubierta por agua” (72,97%) y la CTF de “LOCA VR de Interfase no cubierta por agua” (22,20%). La CTF de DCH representa un 1,84% y la CTF de “Rotura de tubos de GV con temporalidad de DN anterior a 12 horas y no cubierta por agua” un 1,59%.

Según los resultados anteriores, la FGLT y FGL están formadas por fallos tempranos (DCH y ALFA), derivaciones de Contención (roturas de tubos y LOCA de Interfase) y fallos del aislamiento grande, escenarios en los que el fallo de la Contención no es producido por altas concentraciones de H₂ y/o fallos de la refrigeración del corium. Por tanto, con la implantación de los recombinadores pasivos de hidrógeno, del venteo filtrado de la Contención y de la inyección directa a la cavidad del reactor no se reducen las frecuencias de FGLT y FGL.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el APS de Nivel 2 de Sucesos Internos en operación a Potencia de C.N. Vandellós II y C.N. Ascó respecto a la frecuencia de fallo de la Contención y de liberación de productos radiactivos al exterior pueden considerarse comparables y dentro de los rangos usuales para otras centrales PWR similares (Large-Dry Containment) de su generación.

Las frecuencias de FGLT y FGL representan aproximadamente un 3% de la FDN, reflejo de la robustez del diseño

original y, aunque no se ven modificadas tras la implantación de las modificaciones de diseño y estrategias derivadas de los resultados de los “stress test” realizados tras el accidente de Fukushima, mediante la implantación de los recombinadores pasivos de hidrógeno, el venteo filtrado de la Contención y la inyección directa a la cavidad del reactor se reduce la frecuencia de fallo de Contención por reducirse las frecuencias de fallo de la Contención por sobrepresión y por explosiones tardías de H₂ y consecuentemente se atenua el término fuente y se amplía el tiempo disponible para afrontar con garantías los planes necesarios de evacuación en emplazamiento y población próxima.

REFERENCIAS

- [1] CSN. Instrucción IS-25, de 9 de junio de 2010, del Consejo de Seguridad Nuclear, sobre criterios y requisitos sobre la realización de los análisis probabilistas de seguridad y sus aplicaciones a las centrales nucleares. BOE núm. 153, jueves 24 de junio de 2010.
- [2] ANAV. IPE/APS de C.N. Ascó. APS de Nivel 2 de Sucesos Internos a Potencia. Ed. 4.
- [3] ANAV. IPE/APS de C.N. Vandellós II. APS de Nivel 2 de Sucesos Internos a Potencia. Ed. 4.
- [4] Generic Letter 88-20 y Supplements 1 a 4: “Individual Plant Examination for Severe Accident Vulnerabilities”, Noviembre 1988.
- [5] Grupo GPC-PWR “Guías Básicas para el desarrollo de los Análisis Individuales de Planta (IPE) en Centrales PWR Españolas”, Rev. 1, Febrero 1993.
- [6] WCAP-16341-P “Simplified Level 2 Modeling Guidelines” (WOG Project: PA RMCS 0088), Rev. 0, Noviembre 2005.
- [7] “Direct Containment Heating Experiments for Vandellós and Ascó NPP”, Fauske & Associates (FAI), Agosto 1994.
- [8] NUREG-1560 “Individual Plant Examination Program: Perspectives on Reactor Safety and Plant Performance.” Diciembre 1997
- [9] “Definición de Grandes Liberaciones”, Grupo de Trabajo CSN-SECTOR.
- [10] WCAP-16378-P “Westinghouse Owners Group definition for Large Early Release Frequency (LERF)”, Rev. 1, Febrero 2005 (WOG project: PA-RMSC-0011) ■

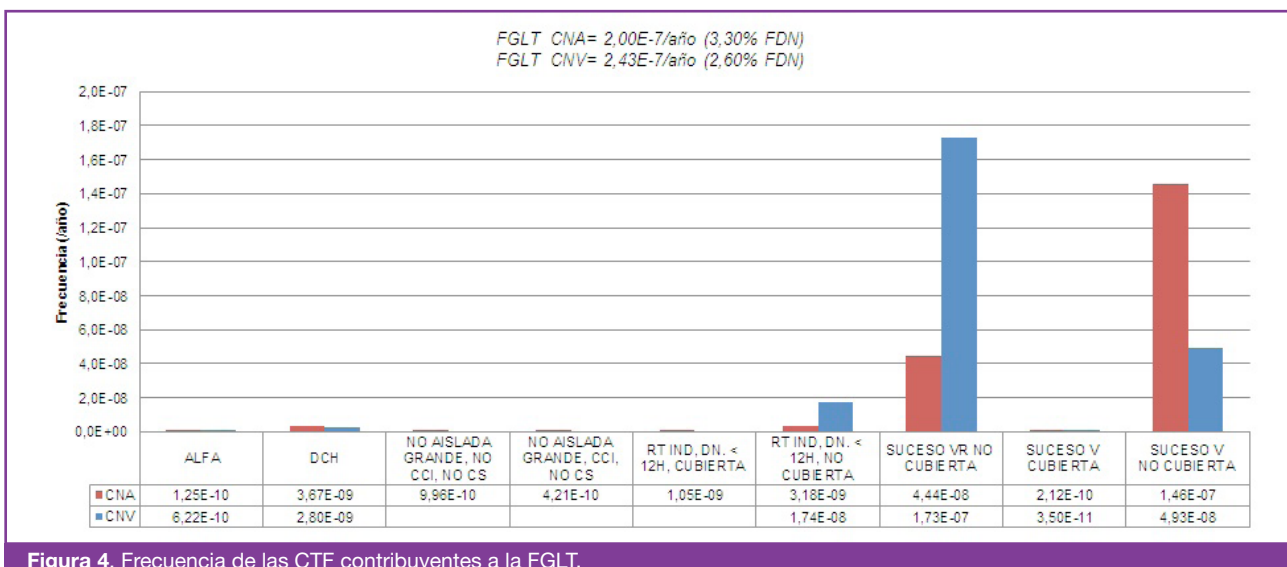


Figura 4. Frecuencia de las CTF contribuyentes a la FGLT.